

ANALISIS DWT SEBAGAI TRANSFORMASI SPARSITY UNTUK PENCUPLIKAN KOMPRESIF PADA AUDIO

ANALYSIS OF DWT AS SPARSITY TRANSFORM FOR AUDIO COMPRESSIVE SAMPLING

Rifki Muhammad Harris¹, Dr. Ida Wahidah, S.T., M.T.², I Nyoman Apraz R., S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹harrifki@students.telkomuniversity.ac.id ²wahidah@telkomuniversity.ac.id ³ramatryana@gmail.com

Abstrak

Proses pencuplikan data merupakan proses yang terjadi pada setiap perangkat *transducer* yang berfungsi sebagai *analog to digital converter*. Proses pencuplikan data tersebut bekerja dengan cara mencuplik bagian-bagian dari sinyal analog sesuai dengan teorema Shannon- Nyquist. Namun, perkembangan teknologi informasi menuntut efisiensi lebih dari proses tersebut. Jumlah bagian-bagian sinyal yang dicuplik tidaklah efisien karena sebagian besar cuplikan tersebut akan dibuang pada saat proses kompresi.

Pada tugas akhir ini diberikan analisis dari teknik pencuplikan kompresif untuk dilakukan pada data sampel yang berupa sinyal audio. Sinyal tersebut akan diubah menjadi sinyal bersifat *sparse*/jarang menggunakan transformasi *sparsity* dengan metode *Daubechies discrete wavelet transform*, lalu akan digunakan teknik *Hadamard* sebagai transformasi proyeksi. Hasil dari transformasi tersebut lalu akan direkonstruksi menjadi sinyal aslinya dengan menggunakan *basis pursuit*.

Performansi sistem pencuplikan kompresif pada tugas akhir ini didapat dengan melakukan pengujian untuk mengambil beberapa parameter seperti sparsitas, SNR, MSE, PEAQ dan rasio kompresi. Hasil terbaik didapatkan saat sistem menggunakan DWT tipe dB3, dimana tingkat sparsitas maksimal mencapai 6% dan SNR maksimal mencapai 51.23 dB. Semakin tinggi level DWT akan membuat kualitas sinyal keluaran semakin bagus.

Kata kunci : Pencuplikan kompresif, DWT, Hadamard, *Basis Pursuit*

Abstract

~~Process of data sampling is a process that exists in every transducer device that serves as analog to digital converter. The process is done by sampling data from the analog signal with sampling frequency of twice its maximal frequency, according to Shannon-Nyquist theorem. But, the growth of field of information technology demands more efficiency from such process. The number of samples needed or the sampling frequency is too high and it makes the process not efficient because most of the samples is dumped at the compression process.~~

~~In this final project is given analysis of compressive sampling for audio signal. The audio signal is transformed into sparse signal using sparsity transform with Daubechies discrete wavelet transform as its method. Hadamard matrix is used for the projection transform. The result of the two transformation then will be reconstructed into the original signal using basis pursuit algorithm.~~

~~Compressive sampling system performance in this final project is acquired by doing testing to obtain several parameter values such as sparsity, SNR, MSE, PEAQ and compression ratio. The best result is acquired when the system adopted DWT type dB3, which the maximum sparsity reaches 6%, maximum SNR reaches 51.23 dB. Thus, the higher the DWT level, the better the output.~~

Keywords : Compressive sampling, DWT, Hadamard, *Basis Pursuit*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

~~Jumlah data yang dihasilkan oleh manusia semakin banyak setiap harinya. Menurut IBM, data yang dihasilkan setiap hari diperkirakan mencapai 2,3 triliun GB dan pada tahun 2020, jumlah data yang dihasilkan akan mencapai 43 triliun GB [1]. Sebagian besar diantaranya merupakan data multimedia, yang berupa audio, citra, dan video digital. Namun, kecepatan manusia dalam memproduksi data-data tersebut belum diimbangi dengan kecepatan perkembangan teknologi penyimpanan data. Upaya untuk menunjang efisiensi dalam penyimpanan data dapat dilakukan dengan pendekatan yang berbeda, yaitu dengan meningkatkan efisiensi kompresi data.~~

Compressive Sampling (CS) merupakan salah satu teknik yang bisa kita gunakan untuk mencapai efisiensi penyimpanan data. Pencuplikan data saat ini kurang efisien karena sebagian besar data yang telah di-sampling akan dibuang pada saat kompresi. Dengan menggunakan CS, ketidakefisienan tersebut dapat dihindari. Jika data dapat diambil secukupnya, frekuensi sampling yang digunakan dapat lebih kecil dari kriteria Nyquist. Secara

prinsip, CS mengkombinasikan proses sampling dan kompresi dalam satu tahap dengan menghitung jumlah sampel minimum yang dapat mengandung informasi dengan jumlah maksimum dari sinyal tersebut. Hal ini membuat data tidak perlu diambil dan disimpan dalam jumlah banyak ketika nantinya hanya akan dibuang.[2]

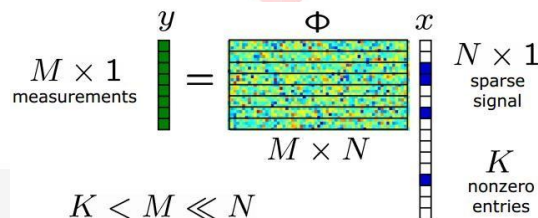
Proses CS sendiri terbagi menjadi tiga tahap, transformasi sparsity, transformasi proyeksi, dan rekonstruksi. Pada tugas akhir ini, akan dianalisis penggunaan Daubechies Wavelet Transform sebagai metode bagi transformasi sparsity pada sinyal audio.

2. Dasar Teori

2.1 Pencuplikan Kompresif

Pencuplikan kompresif/*compressive sampling* (CS) merupakan teknik kompresi yang dapat dilakukan untuk menghindari ketidakefisienan pada saat pencuplikan data. Data yang dihasilkan saat pengumpulan data seringkali dibuang pada saat kompresi. Dengan menerapkan CS, dapat dilakukan pencuplikan/*sampling* pada sinyal di bawah kriteria Shannon-Nyquist, yang menyebutkan bahwa frekuensi cuplik minimum bagi suatu sinyal harus lebih besar dari dua kali frekuensi maksimalnya.

Metode CS memerlukan dua buah basis saat pencuplikan, yaitu basis *sparsity* (Ψ) dan basis proyeksi (Φ). Basis *sparsity* didapatkan dengan melakukan transformasi *sparsity*/penjarang pada sinyal. Tujuan dari transformasi *sparsity* adalah mencari domain di mana sinyal tersebut menjadi sinyal *sparse*, di mana sinyal hanya memiliki jumlah nilai yang sedikit/jarang. Selain transformasi *sparsity*, ada juga transformasi proyeksi yang dilakukan sebagai operasi pengamatan dan pengukuran. Transformasi proyeksi dapat dilakukan dengan cara mengalikan sinyal asli dengan operator proyeksi Φ yang memiliki dimensi sesuai dengan *Measurement Rate* (MR) yang diinginkan.



Gambar 1 Skema transformasi proyeksi [3]

Hasil dari proses transformasi *sparsity* dan transformasi proyeksi akan menghasilkan matriks yang telah terkompresi dibandingkan matriks inputnya. Diperlukan sebuah teknik rekonstruksi agar sinyal dapat dikembalikan seperti semula.

Ada beberapa teknik yang bisa digunakan untuk tahap rekonstruksi dari pencuplikan kompresif. Beberapa teknik yang sering digunakan ialah l_1 norm atau *basis pursuit* dan *Greedy Algorithm* seperti *Orthogonal Matching Pursuit*.

2.2 Discrete Wavelet Transform (DWT)

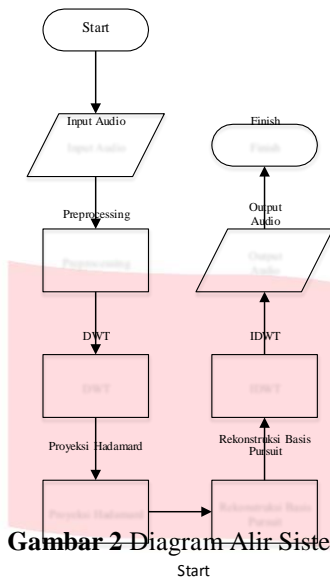
Discrete wavelet transform (DWT) dikembangkan untuk mengurangi redundansi dari *Continuous Wavelet Transform* (CWT), membuat DWT lebih mudah untuk diimplementasikan. DWT dapat mengurangi waktu komputasi sambil tetap mempertahankan cukup informasi baik untuk analisis maupun sintesis. Persamaan Discrete Wavelet Transform sendiri dapat dilihat di bawah ini

$$W(j, k) = \sum_j \sum_k x(k) 2^{-j/2} \psi(2^{-j} n - k) \quad (1)$$

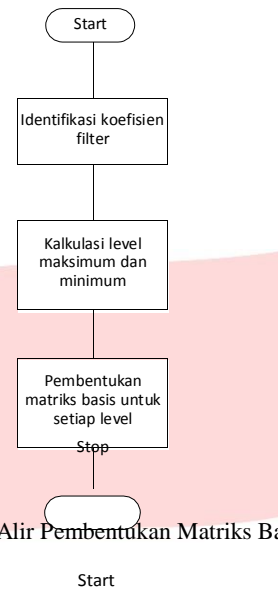
Di mana $\psi(t)$ merupakan fungsi waktu yang disebut *mother wavelet* yang akan menentukan parameter translasi dan dilatasi dari persamaan wavelet. Jenis-jenis wavelet akan berpengaruh pada nilai *multiplier* atau pengali pada filter. Misalkan pada wavelet Haar atau DWT 1 level, koefisien pengali filternya merupakan $\frac{1}{2}\sqrt{2}$.

3. Perancangan Sistem

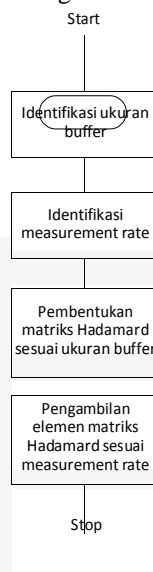
Sistem pencuplikan kompresif yang dirancang mengikuti diagram alir di bawah ini



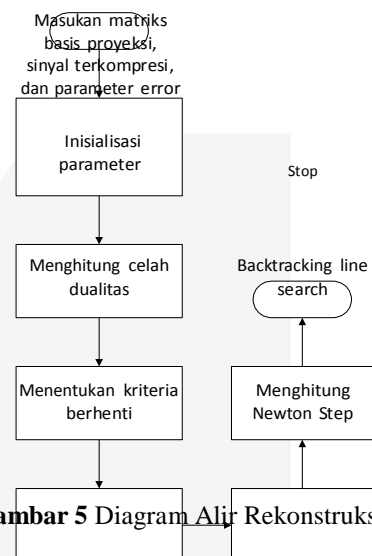
Gambar 2 Diagram Alir Sistem



Gambar 3 Diagram Alir Pembentukan Matriks Basis Sparsity



Gambar 4 Diagram Alir Pembentukan Matriks Basis Proyeksi



Gambar 5 Diagram Alir Rekonstruksi

Pada tugas akhir ini, data audio yang akan digunakan terdiri dari tiga kategori: instrumen, musik dan *speech*. Audio yang dimasukkan ke kategori instrument ialah audio yang terdiri dari suara alat musik saja tanpa ada vokal. Audio yang dimasukkan ke kategori musik ialah audio yang terdiri dari suara alat musik disertai suara vokal. Yang terakhir, kategori *speech*, hanya terdiri atas suara manusia/suara vokal.

Tabel 1 Data sampel audio

Instrumen		Musik		Speech	
Data	Rentang Frekuensi	Data	Rentang Frekuensi	Data	Rentang Frekuensi
Kaori.wav	0-4373.932 Hz	Ada.wav	0-3280.448 Hz	How.wav	0-1261.71 Hz
Canon.wav	0-2943.993 Hz	Blue.wav	0-4458.045 Hz	Online.wav	0-1261.71 Hz
Chopin.wav	0-2439.308 Hz	Clean.wav	0-2355.194 Hz	Sir.wav	0-1514.05 Hz
Renaud.wav	0-1345.285 Hz	Adam.wav	0-4878.616 Hz	Star.wav	0-757.026 Hz
Love.wav	0-2271.08 Hz	Sam.wav	0-3532.791 Hz	Ted.wav	0-2018.737 Hz

Setelah dimasukkan sinyal audio pada sistem, akan dilakukan *preprocessing*. Pada *preprocessing*, akan dilakukan *buffer* atau pengelompokan elemen pada matriks sinyal audio. Setelah itu, akan dicari basis *sparse*-nya menggunakan transformasi *sparsity*. Metode transformasi *sparsity* yang akan digunakan adalah *Discrete Wavelet Transform*. Transformasi *sparsity* bertujuan untuk membuat sinyal input menjadi *sparse* (memiliki jumlah nilai koefisien yang sedikit). Setelah itu, hasil dari transformasi *sparsity* akan melalui transformasi proyeksi. Transformasi proyeksi digunakan untuk operasi pengukuran atau pengamatan. Metode yang akan digunakan sebagai transformasi proyeksi adalah metode Hadamard. Transformasi proyeksi akan dilakukan dengan cara mengalikan hasil DWT dengan matriks Hadamard. Setelah itu, sinyal akan mengalami proses rekonstruksi. Pada proses ini, akan digunakan metode *basis pursuit*.

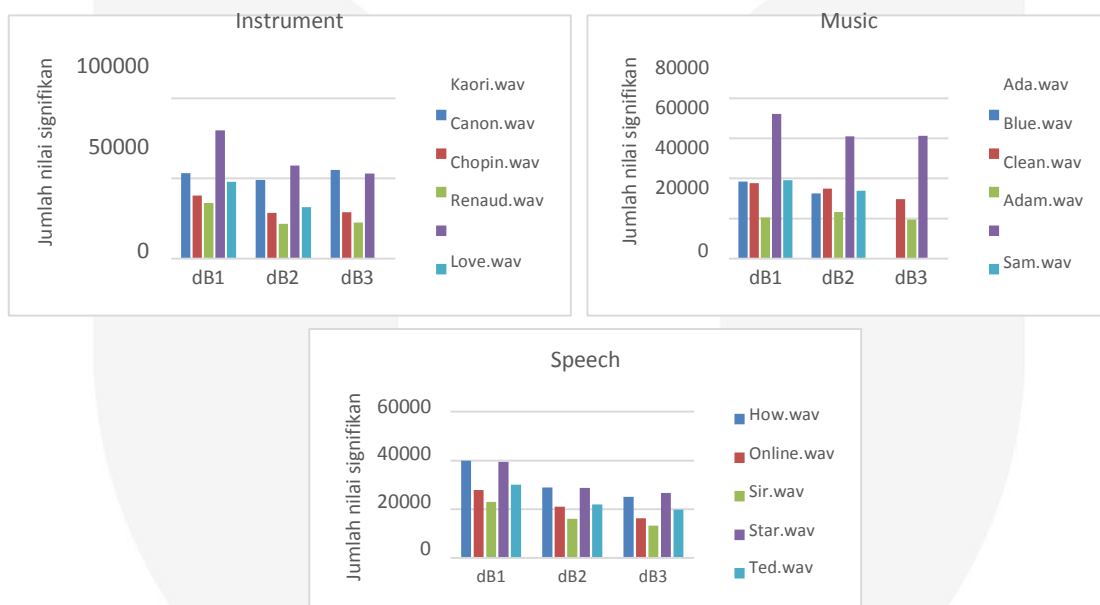
4. Pengujian Sistem

4.1 Analisis Pemilihan Filter pada Sistem

Proses pengujian sendiri diawali dengan memasukkan variabel masukan seperti sinyal audio dan ukuran *buffer*. Setelah itu, akan dilakukan *preprocessing* berupa *cropping* dan *buffer*. Lalu keluaran dari proses *preprocessing* akan langsung melewati proses transformasi *sparsity* dengan mengalikan matriks tersebut dengan matriks DWT. Setelah itu, proses selanjutnya adalah transformasi proyeksi. Sinyal akan dikalikan dengan matriks Hadamard yang telah melewati proses *truncating* sesuai dengan MR sehingga jumlah sampel berkurang. Setelah itu, akan dilakukan proses rekonstruksi menggunakan *basis pursuit*.

4.2 Hasil Pengujian Parameter Sparsitas

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat sparsitas pada setiap tipe DWT yang digunakan.



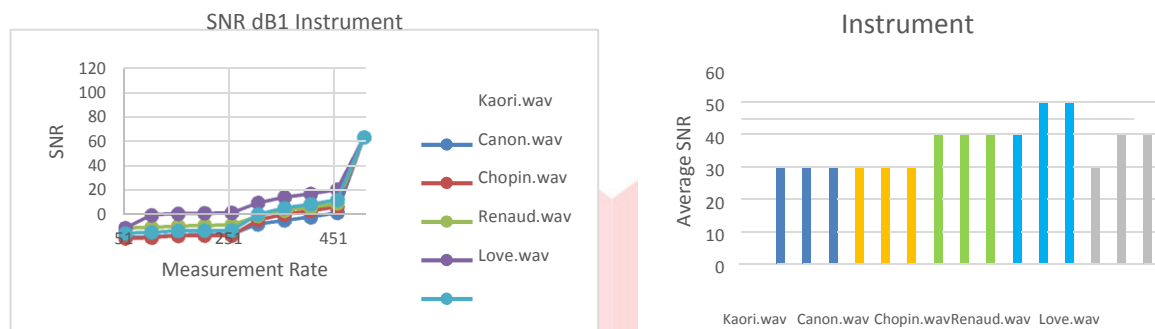
Gambar 6 Grafik Sparsitas Instrumen dengan jumlah total koefisien 221184

Dari ketiga kategori yang ada, dapat dilihat bahwa *speech* cenderung memiliki jumlah koefisien signifikan yang sedikit, di mana tidak ada data sampel yang memiliki jumlah koefisien lebih dari 40000, sehingga memiliki tingkat sparsitas yang tinggi. Kategori instrument dan musik memiliki variasi yang lebih tinggi, di mana ada beberapa data sampel yang memiliki jumlah koefisien signifikan lebih banyak daripada data sampel yang lain. Seperti pada Adam.wav dan Renaud.wav yang memiliki jumlah koefisien signifikan yang lebih banyak daripada audio lain di kategori yang sama.

Penggunaan tipe DWT yang berbeda menyebabkan fluktuasi pada jumlah koefisien signifikan matriks audio. Ada juga yang mengalami penurunan dan ada yang mengalami peningkatan. Hal ini berarti pengaruh DWT terhadap jumlah koefisien signifikan juga dipengaruhi oleh matriks sinyal itu sendiri, sehingga DWT memiliki pengaruh yang berbeda-beda untuk sinyal yang berbeda.

4.3 Hasil Pengujian Parameter SNR

Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis *signal to noise ratio* (SNR). Untuk pengujian parameter SNR, akan digunakan ukuran *buffer* sebesar 512.

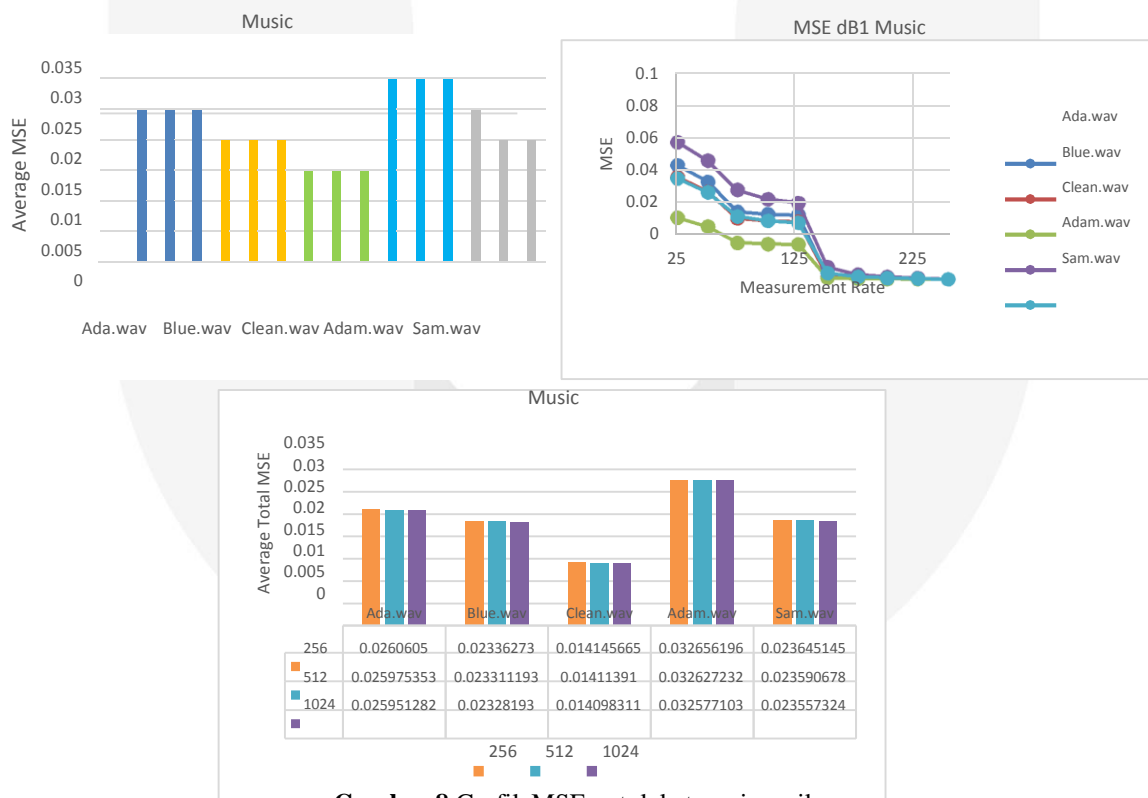


Gambar 7 Grafik SNR untuk dB1 Instrumen

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa semakin besar MR maka SNR pun akan cenderung semakin besar. Hal ini disebabkan semakin besar MR jumlah sampel yang diambil semakin banyak, sehingga sinyal keluaran proses CS akan semakin menyerupai sinyal masukan. *Noise* atau derau yang ditimbulkan dari proses CS pun akan berkurang.

4.4 Hasil Pengujian Parameter MSE

Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis MSE sebagai salah satu parameter kualitas sinyal keluaran sistem pencuplikan kompresif



Gambar 8 Grafik MSE untuk kategori musik

Grafik pertama menampilkan data MSE rata-rata untuk setiap data sampel pada setiap tipe DWT, di mana untuk setiap data sampel ditampilkan data dB1, dB2, dan dB3 secara berurutan. Perbedaan tipe DWT hanya menyebabkan sedikit perubahan nilai MSE rata-rata. Untuk sebagian besar data sampel, perubahan

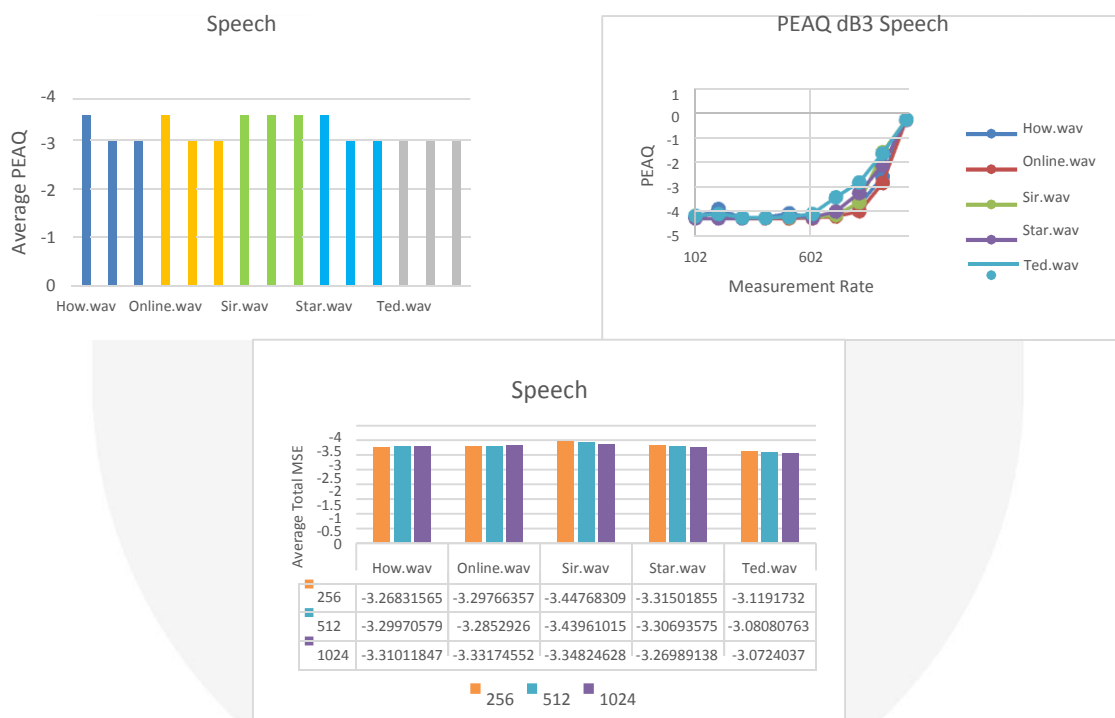
tersebut berupa penurunan nilai MSE yang berarti kualitas sinyal keluaran semakin bagus. Hal ini berarti pengaruh perbedaan tipe DWT tidak terlalu besar, namun semakin tinggi level DWT akan cenderung membuat nilai MSE semakin rendah.

Grafik berikutnya memperlihatkan ilustrasi korelasi antara parameter MR dan MSE. Semakin banyak jumlah sampel yang diambil, sinyal keluaran akan semakin menyerupai sinyal masukan. Hal tersebut akan memperkecil nilai MSE. Dapat dilihat pada grafik di atas bahwa semakin besar MR atau jumlah sampel yang diambil, semakin kecil juga MSE yang berarti sinyal keluaran semakin baik.

Grafik ketiga memperlihatkan pengaruh dari ukuran *buffer* terhadap nilai MSE rata-rata dari pengujian dengan MR dan DWT yang berbeda-beda. Pada sebagian besar data sampel, semakin besar ukuran data *buffer* yang digunakan, maka nilai MSE semakin kecil meskipun penurunan nilainya tidak terlalu besar. Hal ini dikarenakan semakin besar ukuran *buffer* semakin besar pula jumlah baris pada matriks input setelah *preprocessing*. Proses pengurangan sampel pada sistem bekerja dengan mengurangi jumlah sampel pada baris, karena itu semakin banyak jumlah baris maka probabilitas hilangnya informasi/*loss of information* pun semakin sedikit sehingga nilai MSE semakin kecil. Namun, pada prakteknya, penambahan jumlah *buffer* juga menambah waktu komputasi.

4.5 Hasil Pengujian Parameter PEAQ

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai PEAQ, yang mengukur kualitas sinyal keluaran secara objektif sesuai dengan ITU R. BS-137.



Gambar 9 Grafik PEAQ untuk kategori *speech*

Grafik pertama memperlihatkan PEAQ rata-rata untuk setiap data sampel pada setiap tipe DWT, di mana ditampilkan bar dB1, dB2, dB3 secara berurutan untuk setiap data sampel. Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa pada sebagian besar data sampel level DWT yang semakin tinggi akan membuat nilai PEAQ semakin besar, yang berarti kualitas sinyal semakin baik. Peningkatan nilai PEAQ pada setiap level DWT pun cukup tinggi, tidak seperti pada parameter sebelumnya di mana perubahan yang timbul tidak terlalu signifikan untuk setiap level DWT. Dapat dilihat pada grafik kedua, meskipun terdapat beberapa fluktuasi, didapat *trend* di mana semakin besar MR maka nilai PEAQ juga akan semakin besar. Namun, pada sebagian besar MR, nilai PEAQ tergolong kecil dan masuk ke kategori *annoying* (-3) bahkan hampir menyentuh *very annoying* (-4). Grafik ketiga

memperlihatkan pengaruh dari ukuran *buffer* terhadap nilai MSE rata-rata dari pengujian dengan MR dan DWT yang berbeda-beda. Dapat dilihat bahwa pada tiga dari lima data sampel, nilai PEAQ akan semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran *buffer* yang semakin tinggi akan cenderung membuat nilai PEAQ semakin kecil, yang berarti kualitas sinyal keluaran semakin baik.

4.6 Hasil Pengujian Rasio Kompresi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas pengurangan ukuran *file* sebelum dan setelah melewati proses kompresi pada sistem pencuplikan kompresif.



Gambar 10 Grafik PEAQ untuk kategori *speech*

Grafik di atas menunjukkan bahwa rasio kompresi yang didapat berbanding lurus dengan jumlah sampel/*measurement rate* pada matriks input, dengan ukuran *buffer* 512. Pada proses pengujian, tipe DWT dan ukuran *buffer* sama sekali tidak mempengaruhi rasio kompresi. Rasio kompresi 90% pada saat jumlah sampel hanya diambil 51, menunjukkan bahwa ukuran *file* berkurang sebesar 90%. Sesuai dengan jumlah sampel di mana 51 adalah 10% dari 512.

5. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian dan analisis pada sistem pencuplikan kompresif, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil parameter sparsitas menunjukkan bahwa kondisi sinyal setelah dilakukan DWT cukup *sparse* di mana jumlah koefisien signifikan terbanyak hanya mencapai 80059 dari 221184 atau 36%
2. Semakin tinggi level DWT akan cenderung membuat sinyal rekonstruksi memiliki kualitas yang lebih baik sehingga Tipe DWT yang direkomendasikan adalah dB3.
3. Semakin tinggi MR akan membuat kualitas sinyal keluaran semakin baik namun akan membuat rasio kompresi semakin kecil. Karena nilai PEAQ sinyal keluaran sistem cenderung kecil, MR yang disarankan cukup tinggi, yaitu 80%
4. Semakin besar ukuran *buffer* semakin kecil pula probabilitas *loss of information* sehingga kualitas sinyal semakin baik.
5. Rasio kompresi hanya dipengaruhi oleh nilai MR.

Daftar Pustaka

- [1] IBM. "The Four V's of Big Data". Available: http://www.ibmbigdatahub.com/sites/default/files/infographic_file/4-Vs-of-big-data.jpg. [diakses pada tanggal 20 Oktober 2015].
- [2] AB, Suksmono. 2008. "Memahami Penginderaan Kompresif dengan MATLAB". Bandung: Institut Teknologi Bandung
- [3] Richard Baraniuk, Justin Nomberg and Robert Nowak. "Compressive Sensing: A New Framework for Imaging". 2008